

Большая олимпиада Росхим по химии и химической технологии

**2025-2026 учебный год
Заключительный этап
Задания теоретического тура
9 класс**

Длительность теоретического тура: 235 минут

Мы очень рады, что ты решил проявить себя в олимпиадном движении по химии. Это увлекательный путь к самосовершенствованию, развитию своего кругозора и лучшему пониманию мира, в котором мы живём.

Обрати внимание: решение каждой задачи оформляется на выданных листах, не забудь указать номер задачи и пункта, решение которого приводишь. Пиши разборчиво и будь внимателен: учитывай, что именно требуется в вопросе; не забывай о подтверждении расчётами, где это требуется. Будь уверен: каждый из вас может решить какую-то часть задачи. При возникновении трудностей переходи к следующим заданиям – вернёшься в конце, если у вас останется время.

Желаем интересной олимпиады и плодотворного участия!

Константы, которые могут быть полезными

Число Авогадро $N_A = 6,02 \times 10^{23}$ моль⁻¹

Постоянная Больцмана $k_B = 1,38 \times 10^{-23}$ Дж/К

Универсальная газовая постоянная $R = 8,314$ Дж/(К*моль)

Постоянная Планка $h = 6,626 \times 10^{-34}$ Дж*с

Число Фарадея (заряд 1 моля электронов) $F = 9,6485 \times 10^4$ Кл/моль

Масса электрона $m_e = 9,1093 \times 10^{-31}$ кг

Атмосферное давление $P_{atm} = 1,01325 \times 10^5$ Па = 760 mmHg = 760 Торр

Ноль по шкале Цельсия 273,15 К

1 пикометр (пм) 10^{-12} м, 1 ангстрем (Å) 10^{-10} м, 1 нанометр (нм) 10^{-9} м

1 кал = 4,18 Дж

Задача 1. Один из двух

Бром – один из двух элементов, простое вещество которого находится в жидком состоянии при комнатной температуре. Соединения брома широко используются в органическом синтезе, в нефтедобыче, в медицине и фотографии.

1. Какой элемент, кроме брома, образует жидкое простое вещество в стандартных условиях?
2. Назовите атомный номер брома. В каком периоде и какой группе он находится? К какому классу принадлежит бром – металлы, неметаллы или полуметаллы?

В природе бром представлен в основном в виде двух стабильных изотопов: ^{79}Br и ^{81}Br .

3. Сколько протонов, нейтронов и электронов содержит каждый изотоп?
4. Исходя из приведенной в таблице Менделеева средней атомной массы брома, рассчитайте содержание (в масс. %) указанных изотопов в природе.
5. Запишите полную электронную конфигурацию атома брома (используя обозначения $1s^2 2s^2 \dots$). Изобразите схематично расположение электронов на энергетических уровнях.
6. Сколько электронов находится на внешнем энергетическом уровне атома брома? Назовите высшую и низшую степени окисления брома.
7. Бром закипает при нагревании свыше 59°C , образуя ядовитые тяжелые пары бурого цвета. Рассчитайте плотность (г/л) паров брома при температуре 65°C и атмосферном давлении (1 атм).

Для расчетов вам понадобится уравнение состояния идеального газа:

$$pV = nRT$$

где p – давление, Па;

V – объем, м^3 ;

n – количество вещества, моль;

R – универсальная газовая постоянная, $8,314 \text{ Дж/моль}\cdot\text{K}$;

T – температура, К.

Ниже приведены некоторые вещества, содержащие бром, имеющие важное значение в жизни человека:

- HBr – ядовитый газ, использующийся для синтеза многих бромсодержащих веществ и в органической химии;
 - HBrO – образуется при растворении брома в воде, используется для идентификации органических веществ и в качестве отбеливающего вещества;
 - AgBr – применяется в фотографии и в создании специальных стекол, меняющих прозрачность в зависимости от освещенности.
8. Приведите названия перечисленных веществ. К каким классам соединений они относятся?

Задача 2. Небольшая отсылка

Цемент – одно из важнейших изобретений человечества, без которого невозможно представить современное строительство. Ежегодно в мире производится более 4 млрд тонн цемента.

Изучением химии процесса производства цемента занимается химия цементов, в которой для удобства записи введены некоторые однобуквенные сокращения: так, оксид кальция CaO записывается как **С**, SiO_2 – **S**, Al_2O_3 – **A**, Fe_2O_3 – **F**, H_2O (2OH^-) – **H**. Например, вещество CaAl_2O_4 , или $\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$, записанное таким образом будет выглядеть как **СА**.

1. Определите степени окисления всех элементов, присутствующих в веществах **С**, **S**, **A**, **F** и **H**. Определите типы связей, представленных в этих соединениях.
2. Группы молекул воды H_2O в жидкой и твердой фазе соединены между собой еще одним типом связи. Назовите его.

Цемент бывает разных видов, отличающихся составом, и одним из основных таких видов является портландцемент. Портландцемент получают обжигом смеси известняка и глины при температуре около 1450°C . Образующийся спекшийся материал – клинкер – размалывают в порошок и добавляют немного гипса для регулирования сроков схватывания, а также некоторые другие минеральные добавки. Технологическая схема производства цемента приведена на рисунке ниже:



Обжиг сырьевой смеси производится в вращающихся печах, которые можно условно поделить на несколько зон:

- зона сушки, в которой происходит частичное испарение воды, содержащейся в исходном сырье;

- зона подогрева, в которой выгорают органические примеси, а также начинается разложение глинистого компонента. К примеру, каолинит $Al_2Si_2H_2$, составляющий основную массу глины, вначале отщепляет воду, а затем разлагается на отдельные оксиды;
 - зона декарбонизации, где разлагается известняковый компонент (массовая доля кальция 40,04 %), при этом также выделяется углекислый газ. Здесь же начинается образование новых соединений, таких как CA , который взаимодействует с C с образованием C_3A ;
 - зона экзотермических реакций. Здесь полностью завершается процесс образования трех из четырех минералов клинкера – C_3A , C_4AF и C_2S ;
 - зона спекания, в которой минералы плавятся и переходят в расплав, а также образуется последний из минералов – C_3S ;
 - зона охлаждения, где температура постепенно понижается и жидкая фаза застывает.
3. Запишите все формулы веществ, записанных в виде сокращений, в обычном виде.
 4. Запишите в обычном виде уравнения реакций образования C_3A и C_3S . Считайте, что последний образуется напрямую из соответствующих оксидов.

При добавлении воды к готовой цементной смеси происходит схватывание, или загустевание, при котором молекулы воды присоединяются к минералам клинкера. Благодаря этому процессу из сухой смеси образуется цементный клей, который в дальнейшем затвердевает и превращается в бетон.

5. Запишите уравнения реакций схватывания всех четырех минералов клинкера, используя сокращения. Дополнительно известно, что при гидратации C_3S и C_2S образуются одни и те же вещества – $C_3S_2H_3$ и CH , C_3A взаимодействует с водой в соотношении 1:6 без образования побочных продуктов, а при гидратации C_4AF образуется два вещества аналогичного состава, различающихся одним элементом; недостающий кальций для последней реакции берется из образующегося в первых реакциях CH .

Для заливки бетонного фундамента некоторого дома массой 15 тонн необходимо заказать портландцемент определенной марки. Его состав можно представить как 60% C_3S , 20% C_2S , 10% C_3A и 10% C_4AF . Сырьем для его производства служат известняк, глина (считайте за чистый каолинит) и пиритные огарки в виде чистого F .

6. Рассчитайте массы сырья, необходимые для производства необходимой массы портландцемента. Учтите, что в итоговую массу бетона фундамента входит одна часть воды, которую добавляют к двум частям цемента.

Задача 3. E500

Вещество **X** производится сразу несколькими предприятиями АО «Росхим». Его применение очень разнообразно: в качестве пищевой добавки E500, в производстве стиральных порошков, эмалей, для обезжиривания металлов, при производстве стекла, для уменьшения жесткости воды и даже в нефтяной промышленности. Кроме того, из вещества **X** получают множество других веществ, необходимых для производства.

Вещество **X** при растворении в воде дает щелочную среду, что объясняет многие его химические свойства. Например, при реакции с соляной кислотой (*реакция 1*) образуется соль **A**, которую можно найти на каждой кухне, а также выделяется газ **B**, не поддерживающий горение.

Реакция с серной кислотой (*реакция 2*) также протекает с выделением газа **B**, однако образуется уже другая соль **C**, которая также используется для производства стиральных порошков и стекла.

Помимо реакций с кислотами, вещество **X** также вступает в реакцию с некоторыми гидроксидами в растворе. К примеру, при взаимодействии с гидроксидом кальция (*реакция 3*) образуется осадок **D**, а в растворе остается гидроксид **E**, применяемый во множестве отраслей и в быту благодаря своим сильнощелочным свойствам. Тот же осадок **D**, а также соль **A** можно получить, прилив к раствору вещества **X** раствор хлорид кальция (*реакция 4*).

В виде насыщенного (концентрированного) раствора **X** также поглощает некоторые газы. При пропускании сернистого газа SO_2 через раствор **X** при небольшом нагревании (*реакция 5*) образуется соль **F**, в основном используемая в качестве консерванта, а также газ **B**.

Если же через раствор **X** пропустить сероводород H_2S , то вначале образуется смесь кислых солей **G** и **H** (*реакция 6*). При дальнейшем пропускании избытка сероводорода соль **G** также вступает с ним в реакцию с образованием соли **H** и выделением газа **B** (*реакция 7*). Соль **G** также зарегистрирована в качестве промышленной добавки E500 (ii), нашла применение в медицине. Эта соль в виде осадка образуется и при пропускании газа **B** через такой же насыщенный раствор **X** (*реакция 8*).

1. Определите вещество **X**, а также вещества **A-H**. Дополнительно известно, что соединения металла, входящего в состав **X**, при внесении в пламя горелки окрашивают его в интенсивно-жёлтый цвет.
2. Запишите уравнения *реакций 1-8*.

Реакцию 2 решили провести в лабораторных условиях. К раствору вещества **X** объемом 150 мл с плотностью 1,1 г/мл и концентрацией 15% прилили 100 мл 10%-ной серной кислоты, весь выделившийся газ собрали при помощи газоотводной трубки.

3. Какой объем газа (н.у.) образуется в результате протекания реакции?

Задача 4. Датолит

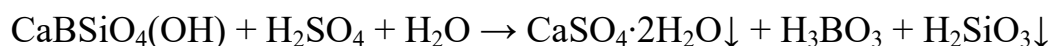
Дальнегорский горно-обогатительный комбинат – один из крупнейших в мире производителей борсодержащей продукции, единственный в России производитель борной кислоты H_3BO_3 . На предприятии для получения борной кислоты используется метод кислотного вскрытия минерала датолита $\text{CaBSiO}_4(\text{OH})$. Борная кислота широко используется в металлургии, в стекольной и ювелирной промышленности, а также в сельском хозяйстве как микроудобрение и инсектицид.



Минерал датолит

1. Изобразите структурную формулу борной кислоты, определите ее основность. Определите валентности и степени окисления всех элементов, входящих в ее состав.

Для вскрытия датолита используют серную кислоту. При этом протекает следующая реакция:



2. Расставьте коэффициенты в приведенной выше схеме реакции.
3. Определите степени окисления всех элементов в датолите. Рассчитайте массовую долю бора в минерале.
4. Какую массу датолита с массовой долей примесей 12% необходимо переработать для получения 620 кг борной кислоты, если выход реакции составляет 85%?

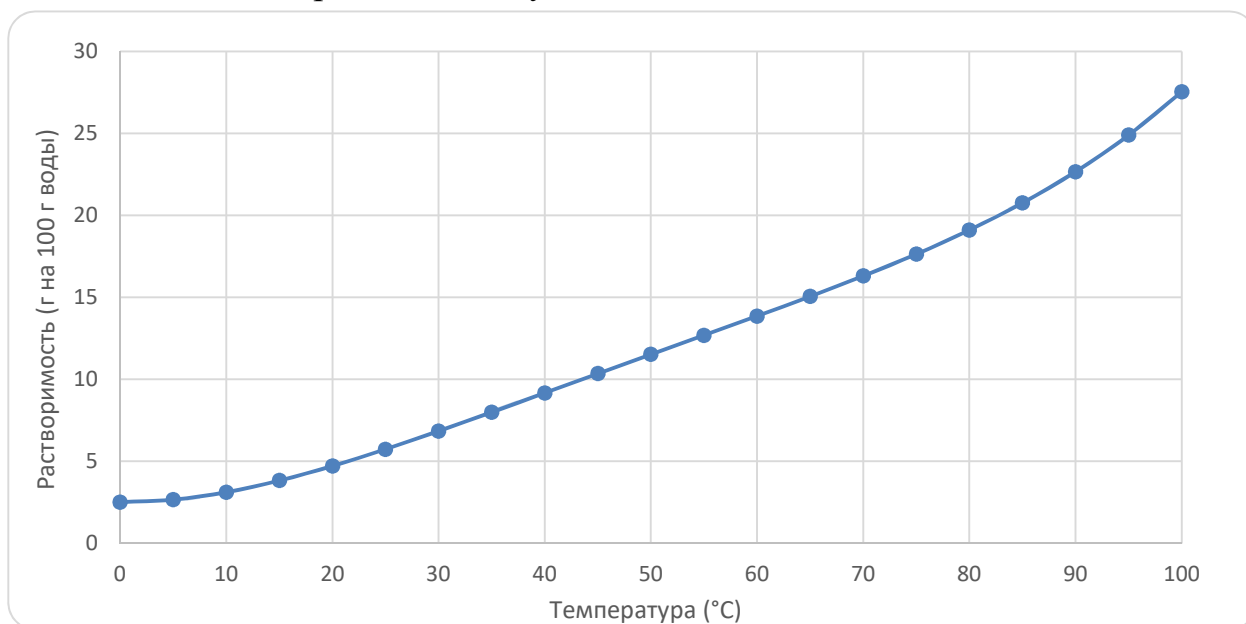
Полученную борную кислоту для очищения от примесей, после отделения осадков из раствора, подвергают перекристаллизации. В горячей воде борная кислота растворяется намного лучше, поэтому при охлаждении раствора часть кислоты выпадает в виде чистого кристаллического осадка. Растворимость борной кислоты в воде составляет: при 20 °C – 4,7 г на 100 г воды; при 80 °C – 19,1 г на 100 г воды.

5. Какая масса воды понадобится для растворения 620 кг борной кислоты при 80 °C? Какая масса чистой борной кислоты кристаллизуется при охлаждении 5 м³ насыщенного при 80 °C раствора, имеющего плотность 1,16 г/см³, до 20 °C?
6. В медицине в качестве антисептика используют 3%-ный раствор борной кислоты. Какую массу насыщенного при 80 °C раствора нужно разбавить водой для получения 500 г 3%-ного раствора?

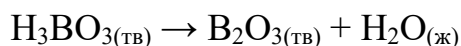
7. Рассчитайте молярную концентрацию (моль/л) борной кислоты в 3%-ном растворе. Плотность раствора примите равной плотности воды.

В 200 г воды растворили 6,2 г H_3BO_3 , при этом начальная температура составила 20,00 °С, а конечная – 17,56 °С.

8. Вставьте пропущенную часть слова: с точки зрения термохимии, растворение борной кислоты в воде – это [...]термический процесс. Рассчитайте тепловой эффект (кДж/моль) процесса растворения H_3BO_3 .
9. Используя нижеприведенную кривую растворимости борной кислоты, рассчитайте, какую наименьшую температуру может иметь порция воды массой в 200 г для полного растворения 8 г борной кислоты в теплоизолированном сосуде?



В 2025 году Дальнегорский ГОК возобновил выпуск борного ангидрида, который используется в стекольной, металлургической, атомной, легкой и парфюмерной промышленности. Его получают термическим разложением борной кислоты:



10. Рассчитайте тепловой эффект этой реакции, если известны стандартные теплоты образования следующих веществ из простых веществ:

$Q_{\text{обр}} (\text{H}_3\text{BO}_{3(\text{ТВ})}) = 1094 \text{ кДж/моль},$

$Q_{\text{обр}} (\text{B}_2\text{O}_{3(\text{ТВ})}) = 1273 \text{ кДж/моль},$

$Q_{\text{обр}} (\text{H}_2\text{O}_{(\text{Ж})}) = 286 \text{ кДж/моль}.$